我国农田土壤酸化调控的科学问题与技术措施

徐仁扣[1*] 李九玉[1] 周世伟[2] 徐明岗[2,3] 沈仁芳[1]

1 中国科学院南京土壤研究所 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 南京 210008
2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 北京 100081
3 中国热带农业科学院亚热带植物研究所 湛江 524091

摘要 我国南方日趋严重的农田土壤酸化不仅导致农作物大幅度减产甚至绝收，而且促进重金属等有害物质在农产品中吸收累积，威胁国家粮食安全和民众健康。但因酸性土壤分布详情不清，作物酸害阈值不明，土壤酸化预测的研究不足，酸化防治技术严重缺乏，红壤酸化没有得到有效控制。采取有效措施改良酸化农田土壤、遏制土壤的持续酸化，将热带和亚热带地区的土壤酸度维持在较低水平，对我国农业可持续发展和乡村振兴战略的实施具有重要意义。

关键词 土壤酸化，酸化阻控技术，酸性土壤改良，科学问题

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2018.02.005

土壤酸化指土壤 pH 值不断降低、土壤交换性酸不断增加的过程，它是伴随土壤发生和发育的一个自然过程，主要由碳酸和有机酸离解产生氢离子（H^+）驱动。土壤的自然酸化过程比较缓慢，但近几十年来由于高强度人为活动的影响，土壤酸化的进程大大加速，对生态环境和农业生产造成严重危害，我国南方热带和亚热带地区酸化问题尤为突出。人为活动对酸化的影响主要包括大气酸沉降和不当的农业措施。过去40年，研究人员已对酸沉降影响下森林土壤酸化进行了广泛和深入的研究，但对农田土壤酸化的研究相对滞后。本文主要介绍我国农田土壤酸化调控存在的问题和主要技术措施。

1 我国农田土壤酸化现状与危害

1.1 我国农田土壤酸化现状

我国南方热带和亚热带地区水、热资源丰富，农林业生产潜力巨大，是经济作物和粮食的主产区。但由于该地区主要分布酸性土壤，随着近年来大气酸沉降不断加剧和化肥的过量施用，这一区域土壤酸化速度显著加快，土

*通讯作者
资助项目：国家重点基础研究发展计划资助（2014CB441003）
修改稿收到日期：2018年1月24日

壤酸化和肥力退化问题突出，严重制约了土壤生产潜力的发挥。据21世纪初调查，我国亚热带地区301个农田采样点土壤的平均pH值已由20世纪80年代的5.37下降至5.14（粮食作物种植土壤）和5.07（经济作物种植土壤）[1]。湖南祁阳定位试验的监测结果显示，长期单施化肥20年后土壤pH值由5.7下降至4.5[2]。我国酸性土壤面积也在不断扩大，20世纪80年代强酸性土壤（pH值<5.5）的面积约为1.69亿亩，21世纪初已增加到2.26亿亩。

土壤酸化在全国范围内普遍发生，南方地区尤为严重。根据全国农业技术推广服务中心2015年公布的2005—2014年全国测土配方施肥土壤基础养分数据[3]，湖南省（120个县市区）、广西壮族自治区（104个县市区）、浙江省（74个县市区）和广东省（94个县市区）的农田土壤平均pH值低于6.0的分别占60.8%、70.2%、75.7%和93.6%，其中土壤平均pH值低于5.5的分别占29.2%、28.8%、41.9%和54.3%。江西省91个县市区中有90个土壤平均pH值低于6.0，其中土壤平均pH值低于5.5的占92.3%，还有18.7%县市区的土壤平均pH值低于5.0；福建省已公布的41个县市区的农田土壤平均pH值均低于6.0，其中85.4%的土壤平均pH值低于5.5，31.7%的土壤平均pH值低于5.0。以上调查分析数据表明，我国亚热带地区土壤酸化问题已十分突出，其中江西、福建和广东等省土壤酸化尤为严重。目前的研究已经确认，化学氮肥的长期过量施用是我国农田土壤加速酸化的主要原因[1]，并且土壤酸化是一个持续进行的过程（图1），若仍广泛沿用目前的农田管理模式，我国亚热带地区农田土壤酸化问题还将进一步加剧。

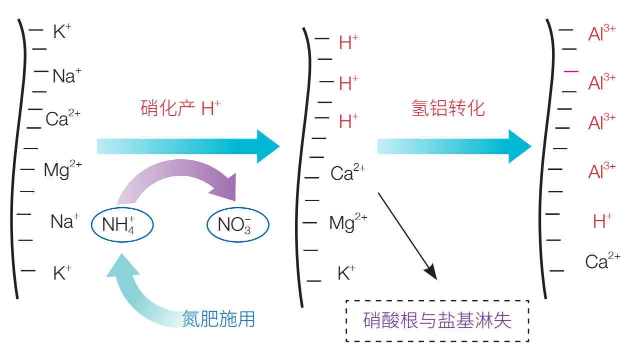


图1 土壤酸化与铝活化示意图

1.2 土壤酸化的主要危害

土壤酸化对农林业生产和生态环境会造成严重危害。酸化使土壤固相中的铝活化并释放进入土壤溶液（图1），对农作物根系产生毒害，影响作物生长。土壤酸化还会加速土壤养分的流失，使土壤肥力下降。因此土壤酸化将导致农作物减产，农产品品质下降，农民收入减少。在严重酸化情况下（pH值<4.0），农作物甚至无法生长，农民颗粒无收。研究表明，酸性土壤pH值由5.4下降至4.7时，油菜籽减产达40%，花生和芝麻的减产幅度为15%左右。进一步酸化将导致更大幅度的减产，如当土壤pH值由4.6降至4.2时，油菜籽的减产幅度达62%以上。土壤酸化还会严重影响农产品品质，如：土壤酸化导致香蕉品质下降，使得广西金穗香蕉公司近年来遭受了上亿元的经济损失[4]。

土壤酸化同时还会使重金属污染的危害程度加重。土壤酸化使土壤中重金属的活性增加，使得植物对这些有害重金属的吸收量增加。因此土壤酸化也是我国南方亚热带地区镉米产生的主要原因之一，酸化使土壤镉的活性大大增加，水稻对镉的吸收和累积增加[5]，镉等有毒重金属由此进入食物链，危害人体健康。另外，土壤酸化还会造成植物病害加剧，使得植物多样性和土壤微生物多样性受到影响。

2 土壤酸化调控存在的主要问题

2.1 酸性土壤分布详情不清

通过20世纪80年代开展的第二次全国土壤普查和2005年开始的全国测土配方施肥计划，虽然获取了大量农田土壤pH值的数据，绘制了区域尺度的土壤pH值分布图，但田块尺度的土壤酸度信息仍严重缺乏。土壤酸度存在很大的空间变异性，目前公布的县域土壤平均pH值对土壤酸化调控的指导作用有限。如能根据测土配方施肥计划获取的海量数据，在酸性土壤地区建立田块尺度的土壤酸度状况数据库，将可为土壤酸化分类调控对策的制订、酸化土壤的改良和土壤酸化的

阻控提供依据。

2.2 土壤酸化预测研究严重缺乏

土壤酸化快慢除与质子源的大小有关外，还受土壤性质的影响。土壤酸化未来发展趋势的预测研究可对土壤酸化的潜在危害提出预警，并为土壤酸化的阻控提供参考。20 世纪 80 年代至 21 世纪初，欧美等国研究人员对酸沉降影响下森林土壤的酸化趋势开展了大量预测研究，建立了一系列酸化预测模型。但国内外至今很少开展农田土壤酸化的预测研究。由于农田土壤酸化的质子源主要来自铵态氮肥中铵离子在土壤中发生的硝化反应（图 1），而森林土壤酸化主要由酸沉降引起，因此建立在森林土壤酸化基础上的酸化预测模型不能直接用于农田土壤酸化的预测研究。近期中国农业大学张福锁院士领导的团队与荷兰 de Vries 教授合作，以预测森林土壤酸化的经验性模型为基础，建立了农田土壤酸化的预测模型——VSD+ 模型[6]，并在较大的区域尺度上对我国不同种植模式下的土壤酸化趋势进行预测研究[7]。这将对我国土壤酸化预测研究起到积极的推动作用。

2.3 作物酸害阈值不明

土壤酸化达到一定程度（一般 pH 值在 5.5 以下），会对作物产生酸害，从而导致作物生长不良，甚至减产。主要原因是酸化导致土壤固相铝溶出，对植物根系产生毒害。由于不同植物对酸害和铝毒的敏感性不同，达到植物酸害的临界土壤 pH 值（酸害阈值）也因作物品种及基因型而不同。虽然国内外对作物发生铝毒害的机制及作物缓解铝毒害的机制开展了广泛而深入的研究[8]，但对作物酸害阈值的研究还很缺乏。目前这方面研究的难点是：田间条件下开展作物酸害试验需要具备连续 pH 值梯度的同类土壤的不同处理。作物收获后，通过分析作物产量与土壤 pH 值和交换性酸度之间的关系获取某一植物的酸害阈值，但这种连续 pH 值梯度的土壤处理难以获得。盆栽实验等控制条件下获得的酸害阈值数据与田间条件下获得的结果存在差异。不同作物及同一作物的不同品种需要通过实验一一获取，工作量很大。另外，土壤阳离子交换量和盐基饱和度等性质参数也影响作物的酸害阈值[9]。然而，作物酸害阈值将为酸化土壤的分类调控提供直接依据，是调控土壤酸化的重要参数，未来应加强这方面的研究。

2.4 土壤酸化的阻控研究重视不够

土壤含有一定量的酸碱缓冲物质，因此对外源酸和碱的加入具有缓冲 pH 值变化的能力。土壤酸化后，土壤中的酸主要以交换性酸（主要为交换性铝）存在于土壤固相部分，其数量比土壤溶液中的高得多。因此，土壤一旦发生严重酸化，调节土壤 pH 值所需碱性物质的数量多，酸碱反应时间长，改良的难度很大。但如在土壤发生严重酸化之前提前预防，采取一定的技术措施减缓土壤酸化，则可起到事半功倍的效果。特别对土壤黏粒和有机质含量低的土壤，由于这类土壤对酸的缓冲能力弱，对外源酸更为敏感，容易酸化，对其酸化的预防尤为重要。目前对土壤酸化阻控研究重视不够，相关的研究还比较少，可供选择的技术措施非常有限。

2.5 酸化土壤的改良技术有待创新

改良酸性土壤的常用方法是施用石灰等碱性物质直接中和土壤酸度，该方法是改良酸性土壤的传统和有效的方法，但也存在一些问题。长期、大量施用石灰会导致土壤板结和养分不平衡，因为石灰仅提供养分钙，而大量的钙会导致土壤镁（Mg）、钾（K）缺乏以及磷（P）有效性下降。土壤酸化伴随着土壤肥力退化，土壤酸度改良必须与土壤肥力提升同步进行。将石灰等无机改良剂与有机肥等有机改良剂配合施用，可以解决这一问题，但目前仍存在一些技术障碍，有待研究。

酸性土壤改良另一长期未得到解决的问题是表下层土壤酸度的改良。石灰在土壤中的移动性差，仅能中和 15—20 cm 以上表层土壤的酸度，对 20 cm 以下的表下层和底层土壤基本无效。而植物根系可深达 40—60 cm 的土层，表下层土壤酸度的改良与表层土壤同等重要。自 20 世纪 70 年代以来，美洲和非洲的一些国家纷纷采用磷酸工业的副产品磷石膏改良表下层土壤酸度，取得很

好的效果。但我国磷酸工业产生的磷石膏中残留了比较多的酸性物质，限制了这一方法在我国酸性土壤改良中的应用。因此，表下层土壤酸度的改良是我国酸化土壤改良要重点解决的科学问题。

为了实现酸性土壤改良剂的精准施用，需要建立改良剂用量的估算方法。目前主要根据土壤 pH 值和土壤 pH 缓冲容量确定改良剂用量。由于土壤 pH 缓冲容量的测定比较烦琐，该方法实用性不强。土壤 pH 缓冲容量与土壤阳离子交换量（CEC）之间存在很好的相关性，还与土壤有机质含量有关，应建立基于土壤 pH 值、CEC 和有机质含量的估算改良剂用量的简便方法[10]，未来应加强研究。

3 土壤酸化预测与酸害阈值的研究展望

3.1 土壤酸化预测研究

我国在农田土壤酸化的预测模型和模拟预测研究方面取得了一定的进展，目前针对主要类型土壤结合重要作物的轮作方式在较大区域尺度上开展了模拟研究，获得土壤酸化参数平均值的未来变化趋势。这些研究将为政府决策提供重要参考。未来要加强较小区域尺度上土壤酸化的模拟预测研究，特别在田块尺度上的预测研究将为土壤酸化的调控提供直接的依据。除采用酸化预测模型外，在田块尺度上计算土壤酸化速率，也可用于土壤酸化的预测研究。这一方法仅需要少量的土壤参数，简便实用。

土壤酸化是一个长期、渐进的过程，长期定位试验在土壤酸化研究中发挥了重要作用。我国在南方地区针对不同土壤类型和作物品种建立了一系列不同施肥处理的长期定位试验，为化肥加速土壤酸化提供了直接证据[11]。目前的长期定位试验主要针对粮食作物，未来还应建立针对经济作物，特别是茶树、果树以及蔬菜等的长期定位试验，从而为土壤酸化研究提供更丰富的数据。

3.2 作物酸害阈值研究

作物酸害阈值研究不仅可以了解不同作物对酸性土壤的适应性，还将为土壤酸化的分类调控提供依据。温室盆栽条件下的研究表明，作物酸害阈值不仅与作物品种有关，还随土壤类型而变化[9,12]。未来要重点研究土壤 CEC 和盐基饱和度等土壤性质对作物酸害阈值的影响，建立酸害阈值与土壤性质之间的经验关系，可以预测同一植物在不同土壤上生长时的酸害阈值，而不必对每一种土壤都进行实验研究。

3.3 制订酸化土壤的分类调控方案

pH 值低于 6.5 的土壤均为酸性土壤，其中 pH 值在 5.5—6.5 范围内的土壤为弱酸性土壤，而这类土壤的酸度对作物生长和生态环境几乎没有有害影响。但这类土壤容易发生进一步酸化，对农业生产和生态环境具有潜在的危害。对这类土壤要采取有效措施阻控和减缓土壤酸化，可以从减小质子源和提高土壤抗酸化能力两方面进行酸化阻控。针对土壤 pH 值低于 5.5 的酸性和强酸性土壤，重点进行改良并同时提高土壤的肥力水平。对 pH 值 <5.0 的强酸性土壤，建议施用石灰等碱性改良剂中和土壤酸度，提高土壤 pH 值，同时配施生物质炭和有机肥提高土壤肥力；对土壤 pH 值在 5.0—5.5 范围的酸性土壤，建议采用生物质炭和有机肥等温和改良剂进行改良。

由于缺乏田块尺度的土壤酸化信息，建议普及土壤 pH 值的原位测定方法。目前的技术条件完全可以满足土壤 pH 值的田间原位测定。在南方酸性土壤分布地区，给乡镇农技站配备便携式土壤 pH 值测定仪器，对疑似酸性和强酸性土壤进行现场原位测定，据此提出土壤酸度改良和土壤酸化阻控的建议。

4 土壤酸化阻控的对策建议

4.1 尿素和铵态氮肥与硝化抑制剂配施

铵态氮肥中的铵离子在土壤中发生硝化反应并产生 H^+ 是其加速农田土壤酸化的主要机制。如能采取有效措施抑制或减少硝化反应，则可从源头控制或减缓铵态氮肥对土壤酸化的加速作用。室内控制条件下的研究

表明双氰铵等硝化抑制剂可以抑制酸性土壤中的硝化反应，而且硝化抑制剂与尿素配合施用还可提高酸性土壤的pH值，因为尿素的水解过程消耗H^+[10]。但目前这一技术还有待田间条件下的进一步验证。

4.2 减施化肥并增施有机肥

铵态氮肥的过量施用是农田土壤加速酸化的主要原因，因此应逐步减少铵态氮肥的施用量，增加有机肥施用量。研究表明，长期施用有机肥或将有机肥与化肥配合施用可以维持土壤酸碱平衡，减缓土壤酸化，因为有机肥含一定量的碱性物质[13]。长期施用有机肥还可提高土壤有机质含量，从而提高土壤的酸缓冲容量，显著提高土壤的抗酸化能力。但由于某些畜禽粪含重金属和抗生素等污染物，选择有机肥时要注意规避环境和健康风险，避免将有害物质引入酸性土壤。有机肥施用量，特别是有机肥与化肥的合理配比，是一个有待进一步研究的课题。既要保证作物不减产，又要维持化肥产酸与有机肥耗酸的基本平衡，维持土壤酸度基本恒定。

4.3 合理的水肥管理

铵态氮的硝化及产生的NO_3^-随水淋失是加剧土壤酸化的重要原因。因此，通过合理的水肥管理，以尽量减少NO_3^-的淋失也能减缓农田土壤酸化，这是国外阻控化学氮肥引起农田土壤酸化的常用措施[14]。例如，选择合理的施肥时间，让施入土壤的肥料尽可能为植物吸收利用。另外，确定合理的氮肥用量，也可以减少氮肥损失，减缓土壤酸化，因为过量施用氮肥必然导致氮肥在土壤中的残留和淋失。在酸性土壤地区使用缓释肥料也可以减少氮肥损失，提高氮肥利用率，起到减缓土壤酸化的作用。

4.4 以硝态氮肥替代铵态氮肥用于设施农业生产

作物吸收硝态氮，其根系会释放氢氧根离子（OH^-），能中和根际土壤的酸度。澳大利亚学者据此建立酸性土壤的生物改良方法[15]。国内已开展的类似研究也发现，当施用硝态氮肥时植物通过其根系与土壤的相互作用提高土壤pH值[10,16]。因此，以硝态氮肥替代铵态氮肥可以从源头切断氮肥在土壤中产酸。考虑到硝态氮肥的价格较高，且在高温多雨的热带和亚热带地区的土壤中容易淋失，建议在设施农业生产蔬菜和瓜果等高附加值农产品时优先使用硝态氮肥，避免氮肥对土壤酸化的影响。大多数蔬菜和瓜果属于喜硝植物，对硝态氮有偏好吸收，因此施用硝态氮肥还可提高氮肥利用率。

4.5 积极研发和推广农作物秸秆炭化还田技术

农作物秸秆经过热解炭化制备的生物质炭是一种优良的酸性土壤改良剂，不仅可以在短期内中和土壤酸度，提高土壤pH值[10]，而且可显著提高土壤的酸缓冲容量和抗酸化能力[17]，对酸化土壤的治理及化学肥料持续施用导致的土壤再酸化的阻控均有很好的效果。与传统秸秆直接还田相比，炭化还田具有减量化、养分富集、有机物不易分解等优点。施用生物质炭还可改善土壤理化性质，提高土壤肥力水平。但目前主要的做法大多是将秸秆收集到固定场所再进行炭化处理，成本很高，难以推广。未来应鼓励多学科、多专业交叉与合作，加强秸秆田间就地炭化技术以及炭化与机械化还田一体技术的研发，降低秸秆炭化处理成本，为大面积推广消除障碍。

5 酸化土壤的改良技术措施

施用石灰是改良土壤酸度的传统而有效的方法，在国内外都已得到广泛的应用[18]。但如上文所提到的，该方法也存在一些不足。磷石膏普遍用于改良热带和亚热带地区表下层土壤的酸度，但该方法在我国的应用也存在不足。因此，需要针对我国农田土壤的酸度特点开发酸化土壤的改良新技术。

5.1 表层与表下层土壤酸度的同步改良技术

碱渣是氨碱法生产纯碱的副产品，含丰富的碳酸钙和一定量的碳酸镁，有害物质含量非常有限，可用作酸性土壤改良剂。研究发现表层施用碱渣可以同时改良表层和表下层土壤酸度。主要机制是碱渣中的硫酸根（SO_4^{2-}）和氯离子（Cl^-）促进了钙离子（Ca^{2+}）和镁离子（Mg^{2+}）等盐基阳离子在土壤剖面中迁移[19]。例如，将植物秸秆等农

业废弃物与碱渣配合施用，对表下层土壤酸度的改良效果更好[20]。

5.2 不同无机改良剂的配合施用

将石灰等碱性改良剂与富含养分的工业废弃物配合施用，可以在中和土壤酸度的同时提高土壤养分含量。如农作物秸秆等生物质发电产生的灰渣富含钙和钾，猪骨提取胶原蛋白后的骨渣富含磷。将其与碱渣配合施用，显著提高酸性土壤 pH 值和磷、钾、钙和镁等养分的含量[21]，还可促进作物对养分的吸收，提高作物产量[22]。

5.3 酸化土壤的有机改良技术

作物秸秆等农业废弃物及其制备的生物质炭和有机肥等均含一定量的碱性物质[10]，但其碱含量低于石灰等无机改良剂，可作为较温和的改良剂用于中等酸化程度的酸性土壤改良。这些有机改良剂还可提高土壤有机质和养分含量、改善土壤理化性质，提高土壤肥力。

5.4 大力推广酸化土壤的综合改良技术

土壤酸化伴随着土壤肥力退化和养分缺乏等问题，目前采用单施石灰的方法虽然对治理土壤酸度很有效，但不能解决酸性土壤肥力低和养分缺乏等问题。将石灰等无机改良剂与有机肥、秸秆或秸秆生物质炭按一定的比例配合施用，不仅可以中和土壤酸度，还能同时提高土壤肥力，保持土壤养分平衡。但目前这些综合调控技术还没有受到足够的重视，亟待进行大面积示范和推广应用。

6 结语

由于高强度农业利用和化肥大量施用导致我国热带和亚热带地区农田土壤持续快速酸化，对农业生产和生态环境造成严重危害。采取增施有机肥减施化肥、推广秸秆炭化还田以及采用有机、无机复合改良技术等阻控土壤酸化、改良酸化农田土壤，遏制土壤的持续酸化，将我国热带和亚热带地区的土壤酸度维持在较低水平，对我国农业可持续发展和乡村振兴战略的实施具有重要意义。

参考文献

1 Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.

2 Meng H Q, Xu M G, Lv J L, et al. Quantification of anthropogenic acidification under long-term fertilization in the upland red soil of south China. Soil Science, 2014, 179: 486-494.

3 全国农业技术推广服务中心. 测定配方施肥土壤基础养分数据集. 北京: 中国农业出版社, 2015.

4 张福锁. 我国农田土壤酸化现状与影响. 民主与科学, 2016, (6): 26-27.

5 Zhao F J, Ma Y B, Zhu Y G, et al. Soil contamination in China: current status and mitigation strategies. Environmental Science and Technology, 2015, 49(2): 750-759.

6 Zeng M F, de Vries W, Bonten L T C, et al. Model-based analysis of the long-term effects of fertilization management on cropland soil acidification. Environmental Science and Technology, 2017, 51(7): 3843-3851.

7 Zhu Q C, Liu X J, Hao T X, et al. Modelling soil acidification in typical Chinese cropping systems. Science of the Total Environment, 2018, 613-614: 1339-1348.

8 沈仁芳. 铝在土壤-植物中的行为及植物的适应机制. 北京: 科学出版社, 2008.

9 Baquy M A, Li J Y, Jiang J, et al. Critical pH and exchangeable Al of four acidic soils derived from different parent materials for maize crops. Journal of Soils and Sediments, 2017, https://doi.org/10.1007/s11368-017-1887-x.

10 徐仁扣. 酸化红壤的修复原理与技术. 北京: 科学出版社, 2013.

11 周晓阳, 徐明岗, 周世伟, 等. 长期施肥下我国南方典型农田土壤的酸化特征. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(6): 1615-1621.

12 梁文君, 蔡泽江, 宋芳芳, 等. 不同母质发育红壤上玉米生长与土壤pH、交换性铝、交换性钙的关系. 农业环境科学学报, 2017, 36(8): 1544-1550.

13 Cai Z J, Wang B R, Xu M G, et al. Intensified soil acidification

from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(2): 260-270.

14 Rengel Z. Handbook of Soil Acidity. New York: Maecel Dekker Inc., 2003.

15 Tang C, Conyers M K, Nuruzzaman M, et al. Biological amelioration of subsoil acidity through managing nitrate uptake by wheat crops. Plant and Soil, 2011, 338: 383-397.

16 Masud M M, Guo D, Li J Y, et al. Hydroxyl release by maize (*Zea mays* L.) roots under acidic condition due to nitrate absorption as related with amelioration of an acidic Ultisol. Journal of Soils and Sediments, 2014, 14(5): 845-853.

17 Shi R Y, Hong Z N, Li J Y, et al. Mechanisms for increasing the pH buffering capacity of an acidic Ultisol by crop straw derived biochars. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(37): 8111-8119.

18 Adams F. Soil Acidity and Liming (Second Edition). Madison: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc. and Soil Science Society of America, Inc., 1984.

19 Li J Y, Liu Z D, Masud M M, et al. Alkaline slag is more effective than phosphogypsum in the amelioration of subsoil acidity in an Ultisol profile. Soil and Tillage Research, 2015, 149: 21-32.

20 Masud M M, Li J Y, Xu R K. Application of alkaline slag and phosphogypsum for alleviating soil acidity in an Ultisol profile: a short term leaching experiment. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(2): 365-373.

21 Shi R Y, Li J Y, Xu R K, et al. Ameliorating effects of individual and combined application of biomass ash, bone meal and alkaline slag on acid soils. Soil & Tillage Research, 2016, 162: 41-45.

22 Shi R Y, Li J Y, Ni N, et al. Effects of biomass ash, bone meal, and alkaline slag applied alone and combined on soil acidity and wheat growth. Journal of Soils and Sediments, 2017, 17(8): 2116-2126.

Scientific Issues and Controlling Strategies of Soil Acidification of Croplands in China

XU Renkou[1*] LI Jiuyu[1] ZHOU Shiwei[2] XU Minggang[2,3] SHEN Renfang[1]

(1 Key State Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

3 South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, China)

Abstract Soil acidification of croplands in South of China became serious in recent decades. This not only led to the reduction in crop yields, but also enhanced uptake and accumulation of heavy metals in agricultural products, which threatened peoples' health. The main scientific issues for soil acidification control are: (1) the distribution of acidic soils in detail and the critical pH and soil Al concentration to harm various crops are not clear; (2) the prediction of soil acidification trends needs to be investigated; (3) the controlling strategies for soil acidification need to be developed. It is significant for sustainable agriculture and revitalizing rural economy to develop various technologies to ameliorate soil acidity and inhibit soil acidification and thus maintain soil acidity at low level.

Keywords soil acidification, inhibition of soil acidification, amelioration of acidic soils, scientific issues

*Corresponding author



徐仁扣　中国科学院南京土壤研究所研究员，土壤化学与环境保护研究室主任，博士研究生导师。中国土壤学会土壤化学专业委员会副主任，国际科学基金科学顾问。主要从事土壤酸化机制与调控对策和土壤表面化学研究。E-mail: rkxu@issas.ac.cn

XU Renkou　Received Ph.D. degree from Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (CAS) in 1997. He is a research professor in Institute of Soil Science, CAS, and the director of Department of Soil Chemistry and Environmental Protection of the institute. He is also deputy director of Special Committee of Soil Chemistry in Soil Science Society of China. He focuses on the mechanisms and controlling strategies of soil acidification and soil surface chemistry. E-mail: rkxu@issas.ac.cn